

## Bestimmung der Rotorlage in einem Elektromotor

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Bestimmung der Lage des Rotors in einem Elektromotor.

Eine genaue Kenntnis der Rotorlage ist für den Betrieb eines bürstenlosen Elektromotors, dessen Drehzahl durch die Frequenz einer zugeführten Wechselspannung bestimmt ist, von entscheidender Bedeutung, um einen solchen Motor ohne Hinzunahme eines Hilfsmotors starten und bei willkürlich festlegbaren Drehzahlen betreiben zu können. Eine herkömmliche Technik zum Erfassen der Rotorlage ist, in der Nähe einer auf der Welle des Motors befestigten, mit Magneten bestückten Tachoscheibe mehrere Hall-Sensoren anzubringen, die jeweils den Durchgang eines Nord- oder Südpols eines Magneten der Tachoscheibe durch einen Signalimpuls oder einen Pegelwechsel eines kontinuierlichen Signals anzeigen. Die Zahl der Magnetpole eines solchen Tachorades ist im Allgemeinen die gleiche wie die des Rotors.

Die Energieversorgung des Motors erfolgt im Allgemeinen über einen elektronischen Wechselrichter, der für jede  $360^\circ$ -Umdrehung des Magnetfeldes im Motor (entsprechend einer Drehung der Welle von  $360^\circ/n$  bei einem Motor mit  $n$  Polpaaren) eine Sequenz von sechs Schaltzuständen in einem Winkelabstand von  $60^\circ$  elektrisch erzeugt. Die Folge der Schaltzustände erzeugt im Motor ein rotierendes magnetisches Feld, das sich von einem Schaltzustand zum nächsten in Schritten von  $60^\circ$  elektrisch weiter dreht. Wenn sich entsprechend einer vollständigen Umdrehung des Magnetfeldes des Rotors um  $360^\circ/n$  weiter dreht, liefert ein einzelner Hall-Sensor nur zwei Impulse. Da sich im Laufe einer Magnetfeldumdrehung aber sechs Schaltzustände abwechseln, werden pro vollständiger Umdrehung des Magnetfeldes sechs Schaltimpulse benötigt, um den Übergang von einem Schaltzustand zum nächsten auszulösen. Um diese Schaltimpulse jeweils phasenrichtig zu erzeugen, ist es bekannt, insgesamt drei Hall-Sensoren jeweils in einem Raumwinkel von  $120^\circ/n$  im Bezug zueinander an der Tachoscheibe anzordnen. Diese drei Sensoren liefern Schaltimpulse zum Umschalten des Wechselrichters von einem Zustand auf den nächsten in Winkelabständen der Welle von  $120^\circ/n$ .

Diese drei Sensoren sind natürlich kostspielig, und sie erfordern Zeit und vor allem Platz zum Einbau, der nicht notwendigerweise immer verfügbar ist. Ein weiteres Problem ist, dass Ungenauigkeiten in der Anordnung der Magneten auf der Tachoscheibe dazu führen können, dass die Zeitabstände zwischen zwei Schaltimpulsen

im Laufe einer Umdrehung der Welle periodisch variieren, was zu einem ungleichmäßigen Lauf des Motors und damit zu verstärkter Geräuschentwicklung führt.

[005] Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist, ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Erfassen der Rotorlage in einem Elektromotor anzugeben, die eine genaue Lageerfassung bei geringen Kosten und geringem Platzbedarf, insbesondere in der Nachbarschaft des Rotors, ermöglichen.

[006] Die Aufgabe wird gelöst durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1 bzw. eine Vorrichtung mit den Merkmalen des Anspruchs 10.

[007] Durch den abstimmbaren Oszillator können alle herkömmlicherweise am Rotor angeordneten Sensoren ersetzt werden, bis auf einen einzigen, der benötigt wird, um eine Referenzperiode zu liefern, auf die der Oszillator abgestimmt werden kann. Da der Oszillator nicht in unmittelbarer Nachbarschaft zum Rotor angeordnet sein muss, wird in der Umgebung des letzteren Platz eingespart, der es ermöglicht, den Elektromotor kompakter zu bauen. Darüber hinaus kann aufgrund des verringerten Platzbedarfs des erfindungsgemäßen einzelnen Detektors im Vergleich zu herkömmlichen drei Detektoren der Detektor auch unmittelbar an den Magneten des Rotors platziert werden, so dass Kosten und Platzbedarf einer Tachoscheibe entfallen und Fehler bei der Bestimmung der Referenzlagendurchgänge, die auf Ungenauigkeiten bei der Anordnung der Magnete an der Tachoscheibe zurückgehen, vermieden werden.

[008] Das erfindungsgemäße Verfahren ist mit einer an sich bekannten Phasenregelkreis(PLL)-Schaltung ausführbar, in der bei jedem Durchgang des Rotors durch die Referenzlage die Phase des Oszillators erfasst wird und die Abstimmfrequenz des Oszillators anhand der erfassten Abweichung korrigiert wird.

[009] Eine einfache PLL-Schaltung würde eine Vielzahl von Umdrehungen des Elektromotors erfordern, bevor sie auf die Frequenz des Rotors einrastet und als Frequenznormal für die Ableitung der Magnetfeldsteuerung dienen kann. Ein solches Einrasten wird erheblich dadurch beschleunigt, dass die Zeitdauer zwischen zwei Referenzlagendurchgängen gemessen und eine von dieser Zeitdauer abgeleitete Zeit als Periode des Oszillators vorgegeben wird. So genügen beim Starten des erfindungsgemäßen Motors schon zwei Referenzlagendurchgänge, um zu einer brauchbaren Schätzung der Periode zu gelangen, auf deren Grundlage im Weiteren der abstimmbare Oszillator betrieben werden kann.

[010] Bei einem Motor mit einer Mehrzahl  $n$  von Polpaaren des Rotors können Fertigungstoleranzen dazu führen, dass auch bei exakt konstanter Drehgeschwindigkeit des Motors die zwischen zwei Referenzlagendurchgängen gemessenen Zeitdauern

rhythmischem schwanken. Um den Einfluss solcher Schwankungen zu begrenzen, wird man zweckmäßigerweise beim Ableiten der als Periode des Oszillators vorzugebenden Zeit aus den Zeitpunkten der Referenzlagendurchgänge einen Schritt des Mittelns der bei jeweils  $n$  aufeinanderfolgenden Referenzlagendurchgängen ermittelten Zeitdauern vorsehen.

- [011] Wenn die Drehzahl des Motors herauf- oder heruntergeregelt werden soll, ist die zwischen zwei Referenzlagendurchgängen gemessene Zeitdauer nicht konstant, sondern sie nimmt kontinuierlich ab oder zu. Dem kann beim Bestimmen der Rotorlage leicht Rechnung getragen werden, indem bei jedem Durchgang des Rotors durch die Referenzlage die seit dem vorhergehenden Durchgang verstrichene Zeitdauer ermittelt wird, die Differenz zwischen dieser Zeitdauer und einer bei dem vorhergehenden Durchgang ermittelten Zeitdauer berechnet wird und die als Periode des Oszillators abgeleitete Zeit durch Hinzuzaddieren der mit einem positiven Faktor gewichteten Differenz korrigiert wird. Dieser Faktor wird vorzugsweise bei ca. 0,5 gewählt.
- [012] Die abgeleitete Rotorlage kann zweckmäßig genutzt werden, um den zeitlichen Verlauf von an die mehreren Phasen des Motors angelegten Versorgungsspannungen zu steuern. Diese Steuerung besteht vorzugsweise aus dem Anlegen eines mit der erfassten Periode zyklisch wiederkehrenden, aus einer Folge von diskreten Schaltzuständen bestehenden Musters an die Phasen des Motors, wobei jeweils bei einer vorgegebenen Rotorlage von einem der Zustände zum darauffolgenden umgeschaltet wird.
- [013] Ein bevorzugtes Einsatzgebiet der Erfindung sind Motoren für Haushaltsgeräte, insbesondere für Waschmaschinen.
- [014] Weitere Merkmale und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung von Ausführungsbeispielen mit Bezug auf die beigefügten Figuren. Es zeigen:
- [015] Fig. 1 eine stark schematisierte Darstellung einer erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Rotorlagenerfassung und eines mit Hilfe der Vorrichtung angesteuerten Elektromotors;
- [016] Fig. 2 ein schematisches Schaltbild eines in der Vorrichtung der Fig. 1 verwendeten Wechselrichters;
- [017] Fig. 3 den zeitlichen Ablauf der zyklisch wiederkehrend an den Motor angelegten Schaltzustände; und
- [018] Fig. 4 ein Blockdiagramm einer bevorzugten Ausgestaltung der Vorrichtung zur Ro

torlagenerfassung und eines mit Hilfe dieser Vorrichtung angesteuerten Elektromotors.

[019] In dem Blockdiagramm der Fig. 1 bezeichnet 1 einen bürstenlosen Gleichstrommotor, dessen Rotor  $n = 4$  Polpaare aufweist. Der Gleichstrommotor 1 ist durch einen Wechselrichter 7 gespeist, dessen Schalter zyklisch wechselnd von einer Steuerschaltung 6 in sechs verschiedene, jeweils um  $60^\circ$  elektrisch gegeneinander phasenverschobenen Magnetfeldern im Motor 1 entsprechende Zustände gebracht werden. Ein Hall-Sensor 2 ist in unmittelbarer Nachbarschaft des Rotors angeordnet, um das Feld jedes einzelnen ihn passierenden Pols des Rotors zu erfassen. Der Hall-Sensor 2 liefert ein Ausgangssignal, das jeweils beim Passieren eines ersten Poltyps eine ansteigende und beim Passieren des anderen Poltyps eine abfallende Flanke aufweist. Die Frequenz  $f$  des Ausgangssignals des Hall-Sensors 2 beträgt somit das  $n$ -Fache der Drehfrequenz des Motors 1.

[020] Das Ausgangssignal des Hall-Sensors 2 liegt an einem ersten Eingang eines Phasenkomparators 3 an, dessen zweiter Eingang mit einem Vergleichssignal versorgt ist, dessen Zustandekommen noch erläutert wird. Der Phasenkomparator 3 kann z.B. durch einen elektronischen Zähler gebildet sein, der jeweils bei Eintreffen einer abfallenden Signalflanke vom Hall-Sensor 2 beginnt, Impulse eines Taktsignals, dessen Frequenz ein Vielfaches der Frequenz  $f$  ist, zu zählen, bis eine abfallende Signalflanke am zweiten Signaleingang empfangen wird, und das Zählergebnis als Messwert für eine Phasendifferenz zwischen den zwei Signalen ausgibt. Die durch ein Tiefpassfilter 4 geglättete Ausgabe des Phasenkomparators 3 steuert einen spannungsgesteuerten Oszillatator 5 an. Im stationären Regime liefert dieser Oszillatator das Vergleichssignal mit der Frequenz  $f$ .

[021] Einer ersten Ausgestaltung zufolge hat das Vergleichssignal eine Form, die jederzeit einen Rückschluss vom Signalpegel auf die Phase zulässt, etwa eine Sägezahn-, Dreieck- oder Sinusform. Die Steuerschaltung 6 empfängt das Vergleichssignal des Oszillators 5 und vergleicht es mit einer Reihe von Referenzpegeln, die z.B. Phasen von  $0^\circ, 60^\circ, 120^\circ, \dots, 300^\circ$  entsprechen, um so die entsprechenden Phasen zu erfassen und zu diesen Phasen den Zustand der Schalter des Wechselrichters 7 zu ändern.

[022] Einer zweiten Ausgestaltung zufolge erzeugt der Oszillatator 5 im stationären Regime eine Hauptschwingung mit der Frequenz  $6f$  und weist einen Frequenzteiler auf, der aus dieser Hauptschwingung das Vergleichssignal mit der Frequenz  $f$  erzeugt. Jede Periode der Hauptschwingung zeigt somit eine Drehung des Rotors um  $60^\circ$  an. Anhand der so bestimmten Rotorlage, mit jeder Periode der Hauptschwingung, schaltet

die Steuerschaltung jeweils von einem Schaltzustand des Wechselrichters zum nächsten.

[023] Fig. 2 zeigt schematisch den Wechselrichter 7. Er umfasst sechs Schalter SU1, SV1, SW1, SU2, SV2, SW2, von denen jeweils die Schalter SU1, SV1, SW1 zwischen einer positiven Versorgungsklemme (+) und einer Phase U, V bzw. W des Motors 1 angeordnet sind und die Schalter SU2, SV2, SW2 jeweils zwischen einer dieser drei Phasen und einer negativen Versorgungsklemme (-) angeordnet sind. Bei den Schaltern kann es sich in an sich bekannter Weise um IGBTs mit einer parallel geschalteten Freilaufdiode handeln.

[024] In dem Zeitdiagramm der Fig. 3 ist mit VCO die Hauptschwingung des spannungsgesteuerten Oszillators 5 dargestellt, auf deren ansteigende Flanke die Steuerschaltung 6 reagiert, indem sie jeweils von einem der sechs zyklisch nacheinander erzeugten Schaltzustände a, b, c, d, e, f zum nächsten wechselt.

[025] Fig. 3 zeigt für jeden der Schaltzustände a bis f den Zustand der Schalter des Wechselrichters 7 sowie die daraus resultierenden Spannungen an den Phasen U, V, W des Elektromotors 1. Im Zustand a sind die Schalter SU1, SW1 geschlossen. Die Schalter SU2, SW2, SV1 sind offen, und der Schalter SV2 wird gepulst geöffnet und geschlossen. Entsprechend dem Tastverhältnis des Schalters SV2 fließt Strom durch die Phasen U, V bzw. W, V des Motors, und die resultierenden Magnetfelder überlagern sich zu einem Raumzeiger  $u_a$ . Im nachfolgenden Schaltzustand b sind die Schalter SV2, SW2 offen, SU2, SV1, SW1 geschlossen und SU1 ist pulsbreitenmoduliert; entsprechend fließt Strom durch die Phasen U, V und U, W, und es resultiert ein Raumzeiger  $u_b$ , der gegenüber  $u_a$  um  $60^\circ$  im Gegenuhrzeigersinn gedreht ist. Die Zustände geschlossen, offen, pulsbreitenmoduliert der Schalter für die Zustände c, d, e, f und die daraus resultierenden Stromverteilungen und Raumzeiger können aus Fig. 3 abgelesen werden und brächen hier nicht im Detail erläutert zu werden. Wesentlich ist, dass sechs Perioden des Signals VCO eine Raumzeigerdrehung um  $360^\circ$  ergeben.

[026] Selbstverständlich könnten die von der Steuerschaltung 6 gesteuerten Zustände des Wechselrichters 7 auch andere als die in Fig. 3 gezeigten sein, insbesondere käme auch, wenn auch weniger bevorzugt, ein Zustandsmuster in Betracht, bei dem jede Phase U, V, W des Motors 1 jeweils einen Zustand lang durch Öffnen beider zu-geordneter Schalter stromlos gehalten wird, dann zwei Zustände lang mit der positiven Versorgungsspannung verbunden, dann wieder einen Zustand lang stromlos gehalten und schließlich zwei Zustände lang mit der negativen Versorgungsklemme verbunden wird und die drei Phasen jeweils um zwei Zustände gegeneinander phasenverschoben

sind.

[027] Die Vorrichtung der Fig. 1 zeigt die Lagen des Rotors, bei denen ein Weiterschalten des Raumzeigers im Motor erforderlich ist, zwar bei einem gleichmäßig rotierenden Motor zuverlässig an, doch können Probleme auftreten, wenn Drehzahländerungen zu einem Verlust der Phasenkopplung führen, oder während des Anfahrens des Motors eine Phasenkopplung erst hergestellt werden muss.

[028] Eine weiterentwickelte Ausgestaltung, die diese und andere Probleme vermeidet, ist in Fig. 4 dargestellt. Komponenten der Vorrichtung aus Fig. 4, die den bereits mit Bezug auf Fig. 1 beschriebenen entsprechen, tragen die gleichen Bezeichnungen und werden nicht erneut behandelt.

[029] Das Ausgangssignal des Phasenkomparators 3 bildet hier das nichtinvertierte Eingangssignal eines Differenzverstärkers 8, an dessen invertierendem Eingang ein für eine gewünschte Phasenverschiebung repräsentatives Signal „Soll“ von außen zugeführt ist. Mit Hilfe dieses externen Signals kann ein beliebiger Nachlaufwinkel zwischen dem Rotor des Motors 1 und dem in dem Motor rotierenden magnetischen Feld eingestellt werden.

[030] Das Tiefpassfilter 4 ist hier als Proportional/integralregler mit einem Gewichtungsteil 9, welches das Ausgangssignal des Differenzverstärkers 8 mit einem vorgegebenen Gewichtungsfaktor multipliziert, und einem Integrator 10 zum Integrieren des Ausgangssignals des Differenzverstärkers 8 gebildet. Die additiv überlagerten Ausgangssignale von Gewichtungsteil 9 und Integrator 10 werden dem spannungssteuerten Oszillatator 5 als ein Frequenzsteuersignal zusammen mit weiteren in einem Addierglied 11 hinzugefügten Beiträgen zugeführt.

[031] An den Ausgang des Hall-Sensors 2 ist neben dem Phasenkomparator 3 eine Periodenmessschaltung 12 angeschlossen, die jeweils die Zeitdauer zwischen zwei aufeinanderfolgenden abfallenden Flanken des Signals vom Hall-Sensor 2 misst und als Ausgangssignal an eine Mittelwertschaltung 13 und ein erstes Schieberegister 14 liefert. An den Ausgang des ersten Schieberegisters ist ein Eingang eines zweiten Schieberegisters 15 und ein zweiter Eingang der Mittelwertschaltung 13 angeschlossen; an den Ausgang des zweiten Schieberegisters ein drittes Schieberegister 16 und ein dritter Eingang der Mittelwertschaltung 13, und an den Ausgang des dritten Schieberegisters ein vierter Eingang der Mittelwertschaltung 13. Mit jedem neuen Periodenmesswert, den die Messschaltung 12 liefert, triggert sie die Schieberegister 14, 15, 16, so dass diese den jeweils an ihrem Eingang anliegenden Messwert übernehmen und ausgeben. So liegen an den Eingängen der Mittelwertschaltung 13 immer die vier jüngsten

Messwerte von Periodendauern des Hall-Sensorsignals an. Die Mittelwertschaltung 13 liefert an ihrem Ausgang den Mittelwert dieser Messwerte. (Allgemein sind bei einer Polpaarzahl des Rotors von  $n$  immer  $n$  Eingänge und  $n-1$  Schieberegister vorgesehen, so dass über die Zahl  $n$  von Perioden des Hall-Sensorsignals gemittelt wird, die einer vollständigen Umdrehung des Rotors entspricht.) Zyklische Schwankungen der Periodendauer, die aus Ungleichmäßigkeiten in der Anordnung der vier Polpaare des Rotors resultieren können, sind somit im Ausgangssignal der Mittelwertschaltung 13 beseitigt. Dieses Ausgangssignal liefert einen wesentlichen Beitrag zum Eingangsspannung des spannungsgesteuerten Oszillators 5. Somit liegt nach zwei Referenzlagendurchgängen des Rotors eine Eingangsspannung am Oszillator 5 an, die nicht weit von der Eingangsspannung entfernt ist, die sich im stationären Regime einstellen würde, und die Frequenz des Oszillators kann schnell auf die des Rotors einrasten.

[032] Der Ausgang der Mittelwertschaltung 13 ist ferner an eine Differenzschaltung 18 einerseits direkt, andererseits über ein viertes Schieberegister 17 angeschlossen, das in gleicher Weise wie die Schieberegister 14 bis 16 getriggert wird, so dass die Differenzschaltung 18 als Ausgangssignal die Differenz zwischen zwei aufeinanderfolgenden gemittelten Perioden des Hall-Sensorsignals liefert. Das Ausgangssignal der Differenzschaltung 18 entspricht also der mittleren Änderung der Periodendauer und zeigt einen beschleunigten oder verlangsamten Lauf des Motors 1 an. Ein solcher beschleunigter oder verlangsamter Lauf wird berücksichtigt, indem das Ausgangssignal der Differenzschaltung 18, in einem Gewichtungsteil 19 mit einem Faktor von 0,5 gewichtet, zu den bereits erwähnten Beiträgen zum Eingangssignal des Oszillators 5 im Addierglied 11 hinzugefügt wird. So berücksichtigt die Schwingung des Oszillators 5 bereits eine Änderung der Periodendauer, die zwar in Extrapolation der Vergangenheit zu erwarten, bisher aber noch nicht gemessen worden ist. Die Ansteuerung des Elektromotors über die Steuerschaltung 6 und den Wechselrichter 7 ist die gleiche wie im Fall der Fig. 1, wobei in Fig. 4 lediglich der 1:6-Frequenzteiler 20, der das Vergleichssignal für den Phasenkomparator 3 liefert, als vom Rest der Steuerschaltung 6 getrennte Schaltungskomponente dargestellt ist.

[033]

## Ansprüche

- [001] Verfahren zur Bestimmung der Rotorlage in einem Elektromotor (1), mit den Schritten: a) Erfassen der Zeitpunkte von Durchgängen des Rotors durch eine Referenzlage; Anpassen der Periode eines abstimmbaren Oszillators (5), so dass die Referenzlagendurchgänge zu einer vorgegebenen Phase des Oszillators (5) stattfinden; Ableiten der Rotorlage zwischen den Referenzlagendurchgängen aus der Schwingung des Oszillators (5).
- [002] Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass bei jedem Durchgang des Rotors durch die Referenzlage die Phase des Oszillators erfasst wird und die Abstimmfrequenz des Oszillators anhand der erfassten Abweichung korrigiert wird.
- [003] Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Zeitdauer zwischen zwei Referenzlagendurchgängen gemessen und eine von dieser Zeitdauer abgeleitete Zeit als Periode des Oszillators vorgegeben wird.
- [004] Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass der Rotor n Polpaare aufweist und die Referenzlage jeweils dem Durchgang eines Pols jedes Polpaars an einem Detektor (2) entspricht, und dass das Ableiten der als Periode des Oszillators (5) vorgegebenen Zeit einen Schritt des Mittelns über aus jeweils n für aufeinanderfolgende Referenzlagendurchgänge ermittelte Zeitdauern umfasst.
- [005] Verfahren nach Anspruch 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, dass bei jedem Durchgang des Rotors durch die Referenzlage die seit dem vorhergehenden Durchgang verstrichene Zeitdauer ermittelt wird, die Differenz zwischen dieser Zeitdauer und einer bei einem vorhergehenden Durchgang ermittelten Zeitdauer berechnet wird und die abgeleitete Zeit durch Hinzuzaddieren der mit einem positiven Faktor gewichteten Differenz korrigiert wird.
- [006] Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass der Faktor zwischen 0,3 und 0,7 beträgt.
- [007] Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass anhand der abgeleiteten Rotorlage der zeitliche Verlauf von an die mehreren Phasen des Motors (1) angelegten Versorgungsspannungen gesteuert wird.
- [008] Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Versorgungsspannungen nach einem mit der erfassten Periode zyklisch wiederkehrenden, aus einer Folge von diskreten Zuständen bestehenden Muster gesteuert werden,

wobei jeweils bei einer vorgegebenen Rotorlage von einem der Zustände zum darauf folgenden umgeschaltet wird.

[009] Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass es an einem Motor eines Haushaltsgeräts, insbesondere einer Waschmaschine, eingesetzt wird.

[010] Vorrichtung zur Bestimmung der Rotorlage in einem Elektromotor, mit einem am Elektromotor (1) angeordneten, für den Durchgang des Rotors durch eine Referenzlage empfindlichen Detektor (2) und einem auf das Ausgangssignal des Detektors synchronisierbaren Phasenregelkreis (3, 4, 5, 6), der ein für die Lage des Rotors repräsentatives Ausgangssignal liefert.

[011] Vorrichtung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass der Detektor (2) im Magnetfeld des Rotors angeordnet ist.

[012] Vorrichtung nach Anspruch 10 oder 11, dadurch gekennzeichnet, dass der Phasenregelkreis einen abstimmbaren Oszillator (5), einen Phasenkomparator (3) zum Liefern eines für eine Phasendifferenz zwischen einem Ausgangssignal des Detektors und einem Ausgangssignal des abstimmbaren Oszillators (5) repräsentativen Korrektursignals, ein Tiefpassfilter (4; 9, 10) für das Korrektursignal, eine Zeitmessschaltung (12-19) zum Ermitteln einer Periodendauer zwischen zwei Durchgängen des Rotors durch die Referenzlage und eine Überlagerungsschaltung (11) zum Überlagern eines für die ermittelte Periodendauer repräsentativen Ausgangssignals der Zeitmessschaltung und des tiefpassgefilterten Korrektursignals zu einem Abstimmsignal für den Oszillator (5) umfasst.

[013] Vorrichtung nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass die Zeitmessschaltung (12-19) eine Mittelwertschaltung (13) zum Bilden des Mittelwerts der Zeitabstände zwischen  $n$  aufeinanderfolgenden Durchgängen des Rotors durch die Referenzlage umfasst.

[014] Vorrichtung nach Anspruch 12 oder 13, dadurch gekennzeichnet, dass die Zeitmessschaltung (12-19) bei jedem Durchgang des Rotors durch die Referenzlage die seit dem vorhergehenden Durchgang verstrichene Zeitdauer ermittelt, die Differenz zwischen dieser Zeitdauer und einer bei einem vorhergehenden Durchgang ermittelten Zeitdauer berechnet und die ermittelte Periodendauer durch Hinzuzaddieren der mit einem positiven Faktor gewichteten Differenz korrigiert.

[015]

Fig. 1

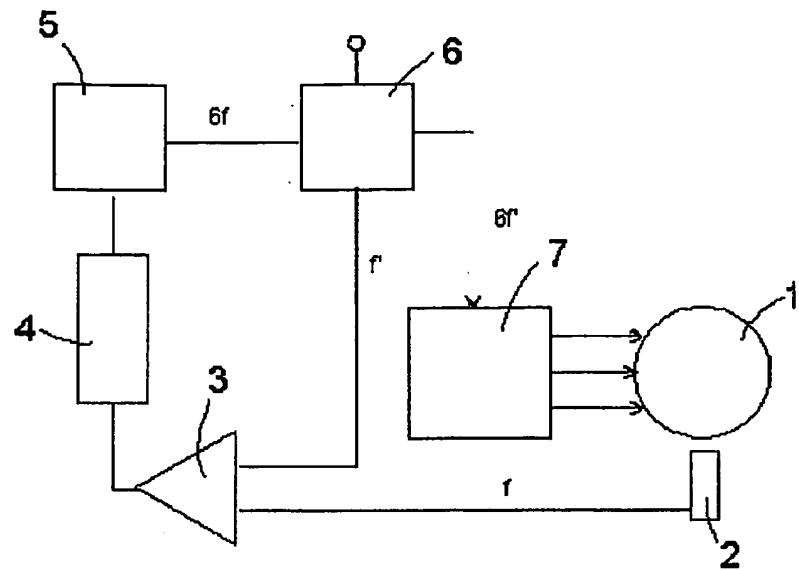


Fig. 2

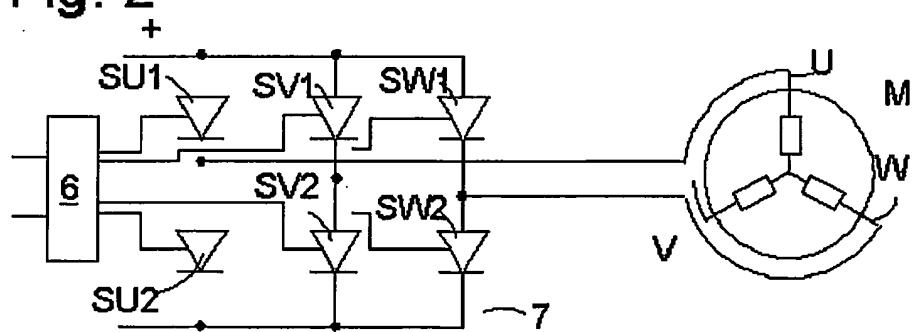


Fig. 3

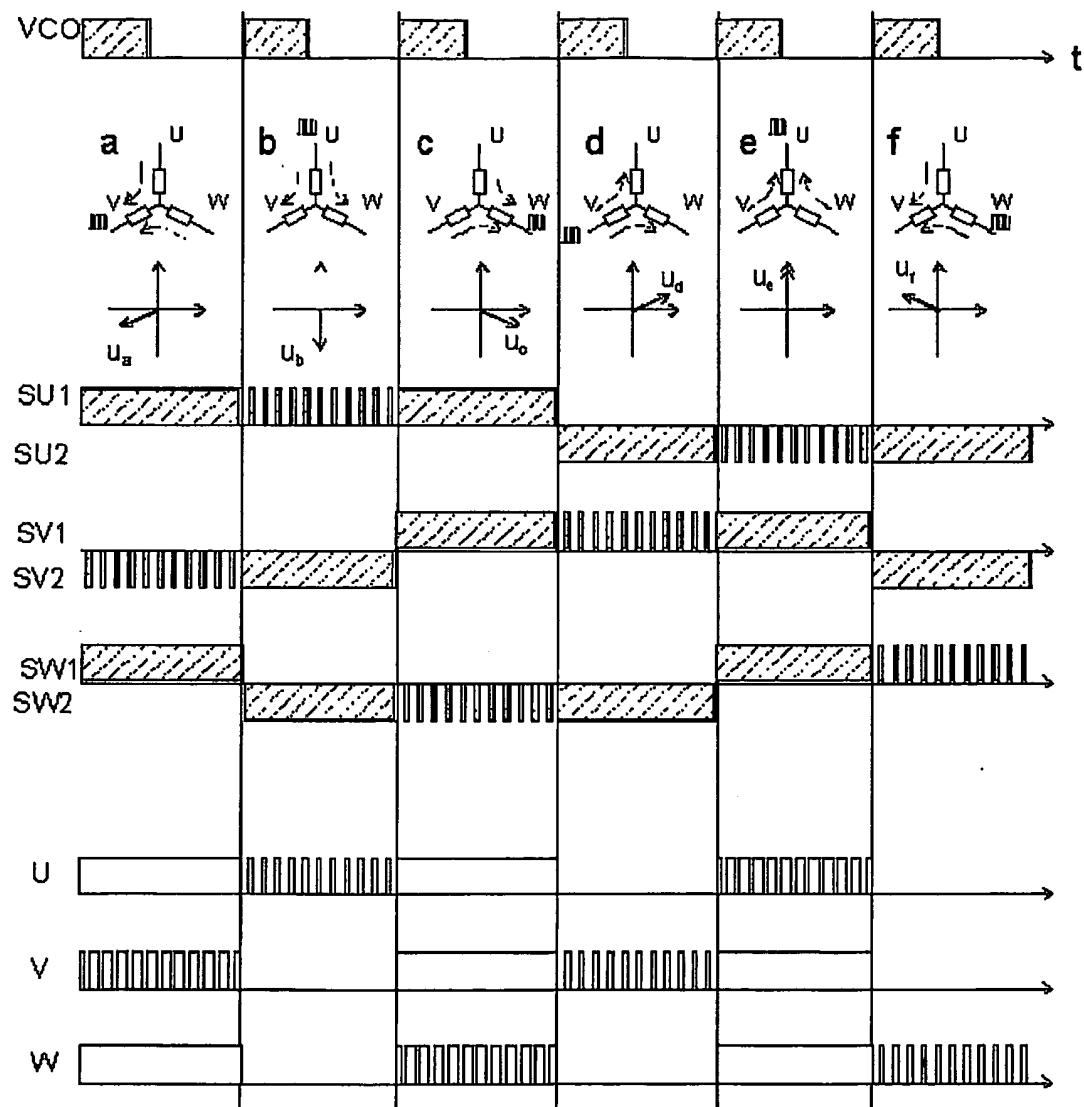


Fig. 4

